

Attorney File: 56715

JC12 Rec'd PCT/PTC 18 APR 2005

Applicant Reference: LTF-193-PCT/US

**LITEF GmbH
Lörracher Str. 18
79115 FREIBURG
GERMANY**

Priority: Germany (DE) October 18, 2002 No. 102 48 736.7

BEST AVAILABLE COPY



REC'D 18 DEC 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 48 736.7

Anmeldetag: 18. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber: LITEF GmbH, Freiburg im Breisgau/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Ermittlung eines Nullpunktfehlers
eines Corioliskreisels

IPC: G 01 C, G 01 P

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 14. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

MÜLLER · HOFFMANN & PARTNER - PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys - European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17
D-81667 München

Anwaltsakte: 53.971

Mü/My/rs

Anmelderzeichen: LTF-193-DE

18.10.2002

LITEF GmbH

Lörracher Str. 18
D-79115 Freiburg

**Verfahren zur Ermittlung
eines Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels**

Beschreibung

- 1 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Nullpunktfehlers bei einem Corioliskreisel.

Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingung ist in der Regel eine Überlagerung einer Vielzahl von Einzelschwingungen. Diese Einzelschwingungen des Massensystems sind zunächst voneinander unabhängig und lassen sich jeweils abstrakt als "Resonatoren" auffassen. Zum Betrieb eines Vibrationskreisels sind wenigstens zwei Resonatoren erforderlich: einer dieser Resonatoren (erster Resonator) wird künstlich zu Schwingungen angeregt, die im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Der andere Resonator (zweiter Resonator) wird nur dann zu Schwingungen angeregt, wenn der Vibrationskreisel bewegt/gedreht wird. In diesem Fall treten nämlich Corioliskräfte auf, die den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator koppeln, der Anregungsschwingung des ersten Resonators Energie entnehmen und diese auf die Ausleseschwingung des zweiten Resonators übertragen. Die Schwingung des zweiten Resonators wird im Folgenden als "Ausleseschwingung" bezeichnet. Um Bewegungen (insbesondere Drehungen) des Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal (z. B. das Ausleseschwings-Abgriffsignal) daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als auch als Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise null – rückgestellt.

Im Folgenden wird zur weiteren Verdeutlichung der Funktionsweise eines Corioliskreisels unter Bezugnahme auf Figur 2 ein Beispiel eines Corioliskreisels in Closed-Loop-Ausführung beschrieben.

Ein solcher Corioliskreisel 1 weist ein in Schwingungen versetzbares Massensystem 2 auf, das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird. Diese Bezeichnung ist zu unterscheiden von den oben erwähnten "abstrakten" Resonato-

- 1 ren, die Einzelschwingungen des "echten" Resonators darstellen. Wie bereits er-
wähnt, kann der Resonator 2 als System aus zwei "Resonatoren" (erster Resona-
tor 3 und zweiter Resonator 4) aufgefasst werden. Sowohl der erste als auch der
zweite Resonator 3, 4 sind jeweils an einen Kraftgeber (nicht gezeigt) und an ein
5 Abgriffsystem (nicht gezeigt) gekoppelt. Das Rauschen, das durch die Kraftgeber
und die Abgriffsysteme erzeugt wird, ist hier durch Noise1 (Bezugszeichen 5)
und Noise2 (Bezugszeichen 6) schematisch angedeutet.

Der Corioliskreis 1 weist des Weiteren vier Regelkreise auf:

10

Ein erster Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung (d.h. der
Frequenz des ersten Resonators 3) auf eine feste Frequenz (Resonanzfrequenz).
Der erste Regelkreis weist einen ersten Demodulator 7, ein erstes Tiefpassfilter
8, einen Frequenzregler 9, einen VCO ("Voltage Controlled Oscillator") 10 und
15 einen ersten Modulator 11 auf.

Ein zweiter Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung auf eine
konstante Amplitude und weist einen zweiten Demodulator 12, ein zweites Tief-
passfilter 13 und einen Amplitudenregler 14 auf.

20

Ein dritter und ein vierter Regelkreis dienen zur Rückstellung derjenigen Kräfte,
die die Ausleseschwingung anregen. Dabei weist der dritte Regelkreis einen drit-
ten Demodulator 15, ein drittes Tiefpassfilter 16, einen Quadraturregler 17 und
einen zweiten Modulator 18 auf. Der vierte Regelkreis enthält einen vierten De-
25 modulator 19, ein viertes Tiefpassfilter 20, einen Drehratenregler 21 und einen
dritten Modulator 22.

25

- Der erste Resonator 3 wird mit dessen Resonanzfrequenz ω_1 angeregt. Die resul-
tierende Anregungsschwingung wird abgegriffen, mittels des ersten Demodula-
30 tors 7 in Phase demoduliert, und ein demoduliertes Signalanteil wird dem ersten
Tiefpassfilter 8 zugeführt, der daraus die Summenfrequenzen entfernt. Das ab-
gegriffene Signal wird im Folgenden auch als Anregungsschwingungs-Abgriff-
signal bezeichnet. Ein Ausgangssignal des ersten Tiefpassfilters 8 beaufschlagt
einen Frequenzregler 9, der in Abhängigkeit des ihm zugeführten Signals den
35 VCO 10 so regelt, dass die In-Phase-Komponente im Wesentlichen zu Null wird.
Dazu gibt der VCO 10 ein Signal an den ersten Modulator 11, der seinerseits ei-
nen Kraftgeber so steuert, dass der erste Resonator 3 mit einer Anregungskraft

1 beaufschlagt wird. Ist die In-Phase-Komponente Null, so schwingt der erste Resonator 3 auf seiner Resonanzfrequenz ω_1 . Es sei erwähnt, dass sämtliche Modulatoren und Demodulatoren auf Basis dieser Resonanzfrequenz ω_1 betrieben werden.

5

Das Anregungsschwingungs-Abgriffsignal wird des Weiteren dem zweiten Regelkreis zugeführt und durch den zweiten Demodulator 12 demoduliert, dessen Ausgabe das zweite Tiefpassfilter 13 passiert, dessen Ausgangssignal wiederum dem Amplitudenregler 14 zugeführt wird. In Abhängigkeit dieses Signals und eines Soll-Amplitudengebers 23 regelt der Amplitudenregler 14 den ersten Modulator 11 so, dass der erste Resonator 3 mit einer konstanten Amplitude schwingt (d.h. die Anregungsschwingung weist eine konstante Amplitude auf).

Wie bereits erwähnt wurde, treten bei Bewegung/Drehungen des Corioliskreisels 1 Corioliskräfte – in der Zeichnung durch den Term $FC \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$ angedeutet – auf, die den ersten Resonator 3 mit dem zweiten Resonator 4 koppeln und damit den zweiten Resonator 4 zum Schwingen anregen. Eine resultierende Ausleseschwingung der Frequenz ω_2 wird abgegriffen, sodass ein entsprechendes Ausleseschwingungs-Abgriffsignal (Auslesesignal) sowohl dem dritten als auch dem vierten Regelkreis zugeführt wird. Im dritten Regelkreis wird dieses Signal durch den dritten Demodulator 15 demoduliert, Summenfrequenzen durch das dritte Tiefpassfilter 16 entfernt und das tiefpassgefilterte Signal dem Quadraturregler 17 zugeführt, dessen Ausgangssignal den dritten Modulator 22 so beaufschlagt, dass entsprechende Quadraturanteile der Ausleseschwingung rückgestellt werden. Analog hierzu wird im vierten Regelkreis das Ausleseschwingungs-Abgriffsignal durch den vierten Demodulator 19 demoduliert, durchläuft das vierte Tiefpassfilter 20, und ein entsprechend tiefpassgefiltertes Signal beaufschlagt einerseits den Drehratenregler 21, dessen Ausgangssignal proportional zur momentanen Drehrate ist und als Drehraten-Messergebnis auf einen Drehratenausgang 24 gegeben wird, und andererseits den zweiten Modulator 18, der entsprechende Drehratenanteile der Ausleseschwingung rückstellt.

Ein Corioliskreisels 1 wie oben beschrieben kann sowohl doppelresonant als auch nichtdoppelresonant betrieben werden. Wird der Corioliskreisels 1 doppelresonant betrieben, so ist die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung annähernd gleich der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung, wohingegen im nichtdoppelresonanten Fall die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung verschieden von der

- 1 Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung ist. Im Fall der Doppelresonanz beinhaltet das Ausgangssignal des vierten Tiefpassfilters 20 entsprechende Information über die Drehrate, im nichtdoppelresonanten Fall dagegen das Ausgangssignal des dritten Tiefpassfilters 16. Um zwischen den unterschiedlichen Betriebsarten
- 5 doppelresonant/nichtdoppelresonant umzuschalten, ist ein Doppelschalter 25 vorgesehen, der die Ausgänge des dritten und vierten Tiefpassfilters 16, 20 wahlweise mit dem Drehratenregler 21 und dem Quadraturregler 17 verbindet.

- Aufgrund unvermeidbarer Fertigungstoleranzen lässt es sich nicht vermeiden,
- 10 dass das Kraftgebersystem, das den ersten Resonator (Anregungsschwingung) anregt, auch den zweiten Resonator (Ausleseschwingung) leicht anregt. Das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal setzt sich also aus einem Teil, der durch Corioliskräfte hervorgerufen wird, und einem Teil, der unerwünscht durch Fertigungstoleranzen hervorgerufen wird, zusammen. Der unerwünschte Teil verursacht einen Nullpunktfehler des Corioliskreisels, dessen Größe jedoch nicht be-
- 15 kannt ist, da beim Abgreifen des Ausleseschwingungs-Abgriffssignals nicht zwischen diesen beiden Teilen differenziert werden kann.

- Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, ein Verfahren bereit zu
- 20 stellen, mit dem der oben beschriebene Nullpunktfehler bestimmt werden kann.

- Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen Corioliskreisel gemäß Patentanspruch 7 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.
- 25

- Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zur Ermittlung eines Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels der Resonator des Corioliskreisels durch eine Störkraft so beaufschlagt, dass im Wesentlichen eine Änderung der Anregungsschwingung des Resonators bewirkt wird, wobei eine Änderung der Ausleseschwingung des Resonators durch eine Teilkomponente der Störkraft als Maß für den Nullpunktfehler aus einem die Ausleseschwingung des Resonators repräsentierenden Auslesesignal extrahiert wird.
- 30

- 35 Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massensystem des Corioliskreisels verstanden, also mit Bezug auf Fig. 2 der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels.

- 1 Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass eine künstliche Änderung der Anregungsschwingung durch Beaufschlagen des Resonators mit entsprechenden Störkräften im Ausleseschwungs-Abgriffsignal beobachtbar ist: Die Änderung (Modulation) der Anregungsschwingung bewirkt
- 5 aufgrund der Fertigungstoleranzen des Corioliskreisels auch eine Änderung der Ausleseschwingung. Mit anderen Worten: Die Störkraft beaufschlagt im Wesentlichen den ersten Resonator, eine Teilkomponente dieser Störkraft beaufschlagt jedoch auch den zweiten Resonator. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwungs-Abgriffsignal ist also ein Maß für den
- 10 Nullpunktfehler ("Bias") des Corioliskreisels. Ermittelt man also die Stärke des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils und vergleicht man diesen mit der Stärke der Störkraft (Änderung der Anregungsschwingung), so lässt sich daraus der Nullpunktfehler ableiten. Ein dem Störanteil proportionales Störanteilsignal kann dann direkt zur Kompensation des Nullpunktfehlers verwendet
- 15 werden.

Vorzugsweise werden die Störkräfte durch Störsignale erzeugt, die entsprechenden Kraftgebern zugeführt werden bzw. auf Signale, die den Kraftgebern zugeführt werden, aufaddiert werden. Beispielsweise kann, um eine Störkraft zu erzeugen, ein Störsignal auf jeweilige Regelsignale zur Regelung der Anregungsschwingung aufaddiert werden.

20

Vorzugsweise ist das Störsignal ein Wechsignale, beispielsweise eine Überlagerung von Sinus- bzw. Kosinussignalen. Ein derartiges Wechsignale erzeugt über entsprechende Kraftgeber eine Wechselkraft, die die Anregungsschwingung in ihrer Amplitude moduliert. Das Wechsignale weist in der Regel eine feste Störfrequenz auf, womit der Störanteil des Ausleseschwungs-Abgriffsignals durch einen entsprechenden Demodulationsprozess, der bei besagter Störfrequenz erfolgt, ermittelt werden kann.

25

30 Die Störfrequenz des Störsignals/der Störkraft weist vorzugsweise eine Periode auf, die wesentlich kleiner als eine Zeitkonstante der Anregungsschwingung, jedoch in der Größenordnung oder größer als eine Zeitkonstante des Corioliskreisels ist. Eine Alternative ist, anstelle eines Wechsignals bandbegrenztes Rauschen als Störsignal zu verwenden. In diesem Fall erfolgt die Demodulation durch Korrelation des Rauschsignals mit dem Signal, das den Störanteil enthält (z. B. das Ausleseschwungs-Abgriffsignal).

35

- 1 Das oben beschriebene Verfahren kann sowohl auf einen Open-Loop- als auch auf einen Closed-Loop-Corioliskreis angewandt werden. Im letzteren Fall lässt sich eine Kompensation des Nullpunktfehlers auf folgende Art und Weise erreichen: Es wird eine Linearkombination aus einem geregelten Teil eines Wechsel-
- 5 signals, das die Anregungsschwingung erzeugt, vorzugsweise einschließlich des Störsignals, und einem Wechselsignal, das eine Rückstellung der Ausleseschwingung bewirkt, gebildet und auf einen Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis des Corioliskreisels gegeben. Der geregelte Teil wird hierbei so geregelt, dass die aus dem Auslesesignal ermittelte Änderung der Ausleseschwin-
- 10 gung durch die Modulation (d. h. der Störanteil) möglichst klein wird.

- Der Störanteil kann beispielsweise direkt aus dem Ausleseschwings-Abgriffsignal ermittelt werden. Der Begriff "Auslesesignal" beinhaltet dieses Signal sowie das Signal, das an einem Quadraturregler eines Quadraturregelkreises an-
- 15 liegt oder von diesem ausgegeben wird, bzw. das Signal, das an einem Drehratenregler eines Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.

- Die Erfindung stellt weiterhin einen Corioliskreisels bereit, der gekennzeichnet ist durch eine Einrichtung zur Bestimmung des Nullpunktfehlers des Corioliskreisels. Die Einrichtung weist auf:
- 20

- eine Störeinheit, die den Resonator des Corioliskreisels mit einer Störkraft so beaufschlagt, dass die Anregungsschwingung des Resonators moduliert wird,
- 25 - eine Störsignal-Detektiereinheit, die einen Störanteil, der in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist und durch eine Teilkomponente der Störkraft erzeugt wurde, als Maß für den Nullpunktfehler ermittelt.

- 30 Wenn die Störkraft durch eine Wechselkraft mit einer bestimmten Störfrequenz gegeben ist, weist die Störsignal-Detektiereinheit eine Demodulationseinheit auf, mit der das Auslesesignal einem Demodulationsprozess (synchrone Demodulation mit der Störfrequenz) unterzogen wird. Auf diese Weise wird aus dem Auslesesignal der Störanteil ermittelt. Alternativ kann bandbegrenztes Rau-
- 35 schen als Störsignal Verwendung finden.

Vorzugsweise ist der Corioliskreisels rückstellend, weist also einen Drehraten-

1 regelkreis und einen Quadraturregelkreis auf. Im Falle eines rückstellenden
Corioliskreisels ist zur Kompensation des Nullpunktfehlers vorteilhafterweise
eine Regeleinheit vorgesehen. Die Regeleinheit erzeugt eine Linearkombination
aus einem geregelten Teil eines Wechselsignals, das die Anregungsschwingung
5 erzeugt (vorzugsweise einschließlich des Störsignals), und einem Wechselsignal,
das eine Rückstellung der Ausleseschwingung bewirkt, und gibt dieses zusammengesetzte Signal auf den Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis des Corioliskreisels. Die Linearkombination der Signale wird durch die Regeleinheit hierbei so geregelt, dass der aus dem Auslesesignal ermittelte Störanteil der Ausleseschwingung
10 seschwingung möglichst klein wird. Damit ist der Nullpunktfehler des Corioliskreisels kompensiert.

Die Störsignal-Detektiereinheit ermittelt den Störanteil vorzugsweise aus einem Signal, das von einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises ausgegeben
15 wird, wobei in diesem Beispiel die Regeleinheit die Linearkombination der Signale auf ein Ausgangssignal des Drehratenreglers aufaddiert.

Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren die Erfindung in beispielsweiser Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

20

Figur 1 den schematischen Aufbau eines Corioliskreisels, der auf dem erfindungsgemäßen Verfahren basiert;

Figur 2 den schematischen Aufbau eines herkömmlichen Corioliskreisels;

25

Figur 3 eine Skizze zur Erläuterung des Zusammenspiels von Resonator, Kraftgebersystem und Abgriffsystem in einem Corioliskreisels;

Figuren 4a bis 4d eine Skizze zur Erläuterung der Kräfte und Schwingungsamplituden für einen Corioliskreisels in Doppelresonanz;

30

Figuren 5a bis 5d eine Skizze zur Erläuterung der Kräfte und Schwingungsamplituden für einen Corioliskreisels nahe Doppelresonanz;

Figuren 6a bis 6d eine Skizze zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

35

1

In den Zeichnungen sind Teile bzw. Einrichtungen, die denen aus Figuren entsprechen, mit den selben Bezugszeichen gekennzeichnet und werden nicht nochmals erläutert.

5

Zunächst soll die generelle Funktionsweise eines Corioliskreisels anhand der Figuren 3 bis 5 in Form einer Zeigerdiagrammdarstellung (Gauß'sche Zahlenebene) nochmals erläutert werden.

- 10 Figur 3 zeigt schematisch einen Corioliskreisels, genauer gesagt ein System 40 aus Resonator (nicht gezeigt), Kraftgebersystem 41 und Abgriffsystem 42 in einem Corioliskreisels. Weiterhin sind mögliche Schwingungen x (Anregung) und y (Auslesung) angedeutet, die bei Drehungen senkrecht zur Zeichenebene durch Corioliskräfte miteinander verkoppelt werden. Die x -Schwingung (komplex) wird
- 15 durch die Wechselkraft mit der komplexen Amplitude F_x (hier nur Realteil F_{xr}) angeregt. Die y -Schwingung (komplex) wird durch die Wechselkraft der komplexen Amplitude F_y mit dem Realteil F_{yr} und dem Imaginärteil F_{yi} rückgestellt. Die Drehzeiger $\exp(i\omega t)$ sind jeweils weggelassen.

- 20 Figuren 4a bis 4d zeigen die komplexen Kräfte und komplexen Schwingungsamplituden für einen idealen Corioliskreisels mit gleicher Resonanzfrequenz von x - und y -Schwingung (Doppelresonanz). Die Kraft F_{xr} und die Anregungsfrequenz des Kreisels werden so geregelt, dass sich eine rein imaginäre, konstante x -Schwingung einstellt. Dies wird erreicht durch einen Amplitudenregler 14, der
- 25 den Betrag der x -Schwingung regelt, sowie einen Phasenregler 10, der die Phase der x -Schwingung regelt. Die Betriebsfrequenz ω_1 wird so geregelt, dass die x -Schwingung rein imaginär wird, d.h. der Realteil der x -Schwingung auf null geregelt wird.

- 30 Die Corioliskraft bei Drehung, F_C , ist nun rein reell, da die Corioliskraft der Geschwindigkeit der x -Schwingung proportional ist. Haben beide Schwingungen die gleiche Resonanzfrequenz, so gestaltet sich die y -Schwingung, verursacht durch die Kraft F_C , wie in Fig. 4d dargestellt. Sind die Resonanzfrequenzen von x - und y -Schwingung leicht verschieden, so liegen komplexe Kräfte und komplexe
- 35 Schwingungsamplituden vor,

- 1 die sich wie in Figuren 5a bis 5d gezeigt gestalten. Insbesondere liegt eine durch FC angeregte y-Schwingung wie in Figur 5d gezeigt vor.

Bei Vorliegen von Doppelresonanz ist der Realteil des y-Abgriffsignals null, bei
5 Nichtvorliegen hingegen nicht. In beiden Fällen wird bei rückgestellten Kreisel
die Corioliskraft FC durch einen Regler für Fyr, der FC kompensiert, genullt. Bei
Corioliskreisen, die doppelresonant betrieben werden, wird der Imaginärteil von
y mittels Fyr genullt, der Realteil von y wird mittels Fyi genullt. Die Bandbreite
der beiden Regelungen beträgt etwa 100 Hz.

10

Nun wird unter Bezugnahme auf Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in
beispielsweiser Ausführungsform näher erläutert.

Ein rückstellender Corioliskreisel 1' ist zusätzlich mit einer Störeinheit 26, einer
15 Demodulationseinheit 27, einer Regeleinheit 28, einem fünften Tiefpassfilter 29
und einem Multiplikator 30 versehen.

Die Störeinheit 26 erzeugt ein Wechselsignal mit einer Frequenz ω_{mod} , das auf
das Ausgabesignal des Amplitudenreglers 14 aufaddiert wird. Alternativ kann
20 anstelle des Wechselsignals auch bandbegrenztes Rauschen als Störsignal Ver-
wendung finden. Ferner wird dieses Wechselsignal der Demodulationseinheit 27
zugeführt. Das somit erhaltene zusammengesetzte Signal (Ausgabesignal des
Amplitudenreglers und Wechselsignal) wird einem (ersten) Modulator 11 zuge-
führt, dessen entsprechendes Ausgabesignal einen Kraftgeber (nicht gezeigt)
25 und damit den Resonator 2 beaufschlagt. Damit wird der Resonator 2 zusätzlich
mit einer Wechselkraft, die dem Wechselsignal entspricht, beaufschlagt. Diese
Wechselkraft lässt sich nach "Durchgang" durch den Resonator 2 in Form eines
Störanteils des Ausleseschwungs-Abgriffsignals beobachten. In diesem Bei-
spiel wird, um den Störanteil zu ermitteln, das Signal, das vom Drehratenregler
30 ausgegeben wird, einem Demodulationsprozess unterzogen, der durch die Demo-
dulationseinheit 27 ausgeführt wird und bei der Frequenz ω_{mod} (Störfrequenz)
erfolgt. Das somit erhaltene Signal (Störanteil) wird durch das fünfte Tiefpassfil-
ter 29 gefiltert und der Regeleinheit 28 zugeführt. Das der Regeleinheit 28 zuge-
führte Signal stellt ein Maß für den Nullpunktfehler dar. Die Regeleinheit 28 er-
35 zeugt in Abhängigkeit des ihr zugeführten Signals ein Ausgabesignal, das dem
Multiplikator 30 zugeführt wird und so beschaffen ist, dass der Störanteil des

- 1 Ausleseschwingsungs-Abgriffssignals möglichst klein geregelt wird. Der Multipli-
kator 30 multipliziert das zusammengesetzte Signal (Ausgabesignal des Amplitu-
denreglers und Wechselsignal), das diesem zugeführt wird, mit dem Ausgabesi-
gnal der Regeleinheit 28 und erzeugt damit ein Ausgangssignal, das auf das Si-
5 gnal, das vom Drehratenregler ausgegeben wird, aufaddiert wird. Damit wird der
Bias des Corioliskreisels zurückgestellt. Das der Demodulationseinheit 27 zuge-
führte Signal kann alternativ auch das Signal sein, das dem Drehratenregler 21
zugeführt wird bzw. dem Quadraturregler 17 zugeführt/vom Quadraturregler
17 ausgegeben wird. Auch kann das der Demodulationseinheit 27 zugeführte Si-
10 gnal das Ausleseschwingsungs-Abgriffssignal selbst sein. Im letzteren Fall muss
bei der Demodulation auch die Betriebsfrequenz ω berücksichtigt werden.

- Ferner ist es prinzipiell möglich, das Ausgabesignal des Multiplikators 30 an ei-
ner beliebigen Stelle in den Drehratenregelkreis einzuspeisen (nicht nur unmit-
15 telbar vor dem zweiten Modulator 18), d. h. an einer beliebigen Stelle zwischen
dem Abgriff für die Ausleseschwingung und dem dritten Modulator 22. Analoge
Überlegungen gelten für den Fall, das Störsignal in den Quadraturregelkreis
einzuspeisen.

- 20 Das eben beschriebene erfindungsgemäße Verfahren lässt sich unter Bezugnah-
me auf Figuren 6a bis 6d auch wie folgt darstellen:

- Die Ausleseschwingung wird aufgrund von Fertigungstoleranzen i. a. einen klei-
nen Teil der Anregungskraft F_{xr} "sehen": $kF_{yx} \cdot F_{xr}$. Bei geschlossenem F_{yr} -Re-
gelkreis wird F_{yr} dadurch um $kF_{yx} \cdot F_{yr}$ gegenüber dem korrekten Wert verän-
dert. Es entsteht ein entsprechender Bias, da F_{yr} ein Maß für die Drehrate ist.
Zur Kompensation dieses Fehlers wird nun die Amplitude von F_{xr} mittels der
Störeinheit 26 mittelwertfrei moduliert. Die Modulationsfrequenz oder die Fre-
quenzen des bandbegrenzten Modulationsrauschens sollten so gewählt werden,
30 dass die Anregungsschwingung möglichst wenig gestört wird, der Drehraten-
regelkreis aber über den Anteil $kF_{yx} \cdot F_{xr}$ möglichst stark gestört wird. Der Fehl-
anteil in F_{yr} , $kF_{yx} \cdot F_{xr}$ wird nun durch Addition eines geregelten Anteils kF_{yx} -
 $comp \cdot F_{xr}$ zu F_{yr} derart kompensiert, dass die Modulation im Drehratenkanal
verschwindet. Hierzu ist $kF_{yx}comp$, der von der Reglereinheit 28 ausgegeben
35 wird, (vorzugsweise softwaretechnisch) zu regeln. Das Eingangssignal eines ent-
sprechenden Reglers (Reglereinheit 28) ist das mit der Modulationsfrequenz syn-
chron demodulierte Signal von F_{yr} . Ist der Regler abgestimmt, so verschwindet

- 1 das Modulationssignal im Drehratenkanal, ein Sperrfilter für die Modulationsfrequenz ist im Drehratenausgang daher nicht erforderlich.

5

10

15

20

30

35

Patentansprüche

- 1 1. Verfahren zur Ermittlung des Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels (1'),
bei dem
- der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') durch eine Störkraft so beauf-
schlagt wird, dass eine Änderung der Anregungsschwingung des Resonators (2)
- 5 bewirkt wird, und
- eine Änderung der Ausleseschwingung des Resonators (2), die durch eine
Teilkomponente der Störkraft erzeugt wird, als Maß für den Nullpunktfehler aus
einem die Ausleseschwingung des Resonators (2) repräsentierenden Auslese-
signal extrahiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störkraft
eine Wechselkraft ist, die die Anregungsschwingung in ihrer Amplitude modu-
liert.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störkraft
eine Störfrequenz aufweist, deren Periode wesentlich kleiner als eine Zeitkon-
stante der Anregungsschwingung, jedoch in der Größenordnung oder größer als
eine Zeitkonstante des Corioliskreisels ist.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die
Änderung der Ausleseschwingung erfasst wird, indem das Auslesesignal einem
Demodulationsprozess auf Basis der Störfrequenz unterworfen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störkraft
- 25 durch ein Störsignal, das bandbegrenztes Rauschen ist, erzeugt wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-
zeichnet**, dass eine Linearkombination aus einem geregelten Teil eines Wechsel-
signals, das die Anregungsschwingung erzeugt, und einem Wechsignal, das
eine Rückstellung der Ausleseschwingung bewirkt, derart gebildet und auf einen
- 30 Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis des Corioliskreisels gegeben wird, dass
die aus dem Auslesesignal ermittelte Änderung der Ausleseschwingung mög-
lichst klein wird.

1 7. Corioliskreis (1'), **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung zur Bestimmung des Nullpunktfehlers des Corioliskreisels (1'), mit:

– einer Störeinheit (26), die den Resonator (2) des Corioliskreisels (1') mit einer Störkraft so beaufschlagt, dass die Anregungsschwingung des Resonators
5 (2) moduliert wird,

– einer Störsignal-Detektiereinheit (27), die einen Störanteil, der in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist und durch eine Teilkomponente der Störkraft erzeugt wurde, als Maß für den Nullpunktfehler ermittelt.

10

8. Corioliskreis (1') nach Anspruch 7, **gekennzeichnet durch** einen Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis.

9. Corioliskreis (1') nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** eine Regeleinheit (28), die eine Linearkombination aus einem geregelten Teil eines Wechselsignals, das die Anregungsschwingung erzeugt, und einem Wechselsignal, das eine Rückstellung der Ausleseschwingung bewirkt, bildet und auf den Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis des Corioliskreisels (1') gibt, wobei die Regeleinheit die Linearkombination der Signale so regelt, dass der aus dem Auslesesignal ermittelte Störanteil der Ausleseschwingung möglichst klein wird.
15
20

10. Corioliskreis (1') nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störsignal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das von einem Drehratenregler (21) des Drehratenregelkreises ausgegeben wird, und die Linearkombination der Signale auf ein Ausgangssignal des Drehratenreglers (21) aufaddiert.
25

30

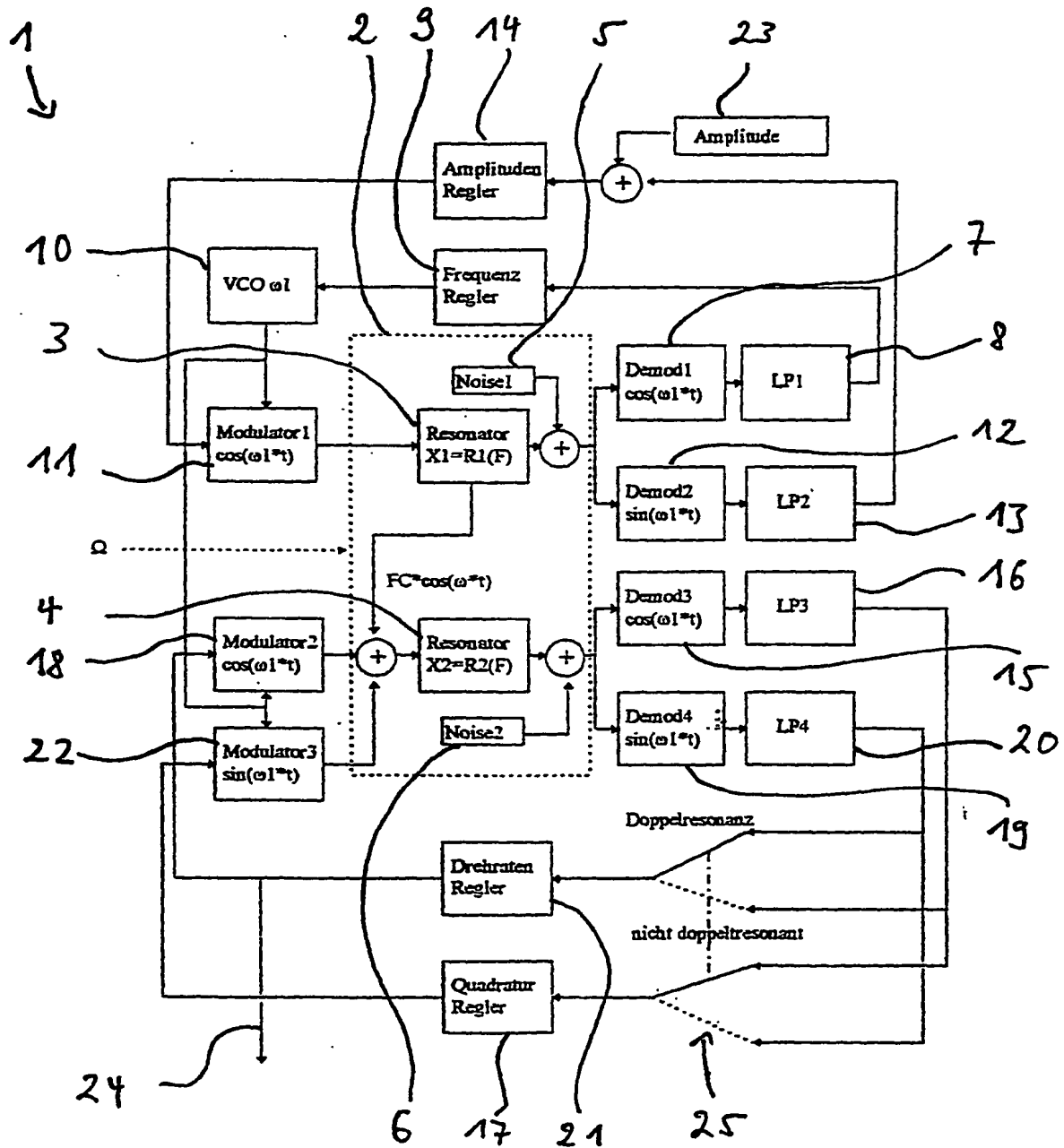
35

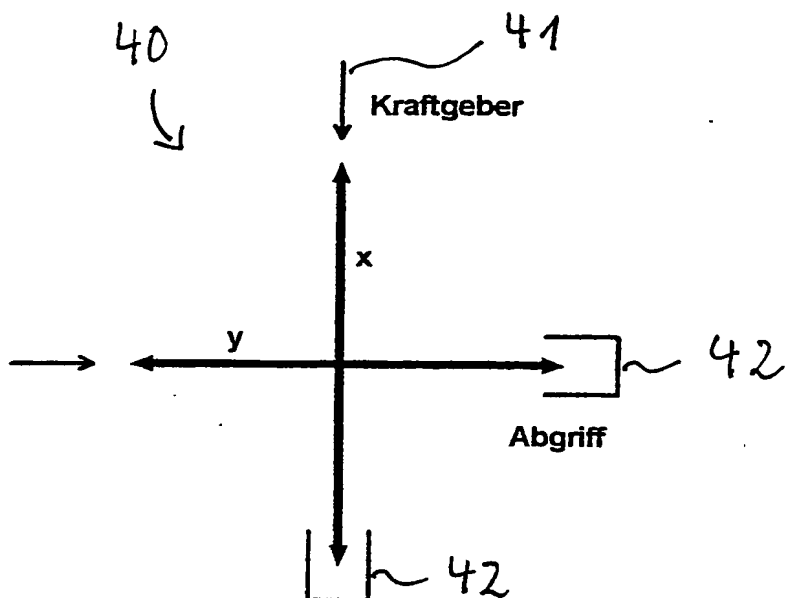
Zusammenfassung**Verfahren zur Ermittlung
eines Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels**

Bei einem Verfahren zur Ermittlung des Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels (1') wird der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') durch eine Störkraft so beaufschlagt, dass eine Änderung der Anregungsschwingung des Resonators (2) bewirkt wird, und eine Änderung der Ausleseschwingung des Resonators (2), die durch eine Teilkomponente der Störkraft bewirkt wird, als Maß für den Nullpunktfehler aus einem die Ausleseschwingung des Resonators (2) repräsentierenden Auslesesignal extrahiert wird.

(Fig. 1)

Fig. 1

Fig. 2



Kräfte

Bewegung

Fig. 4a

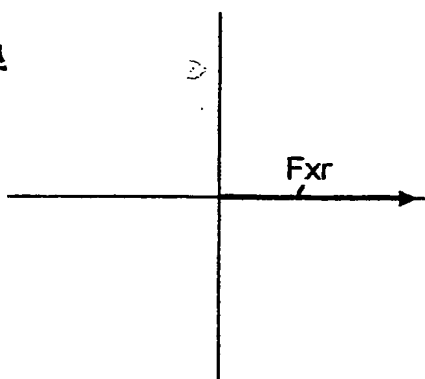


Fig. 4b

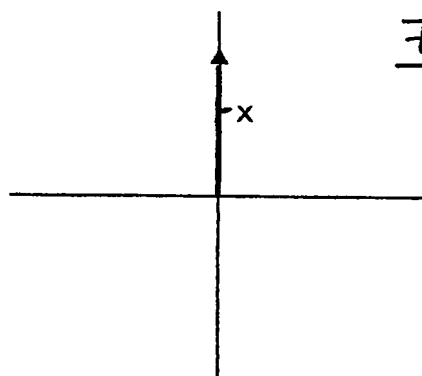


Fig. 4c

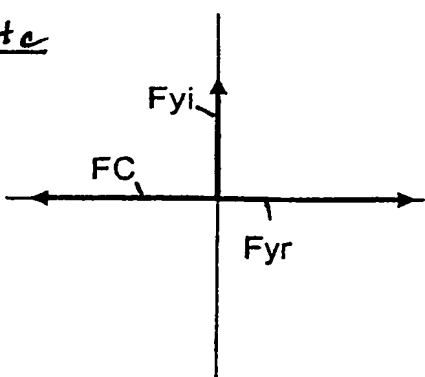


Fig. 4d

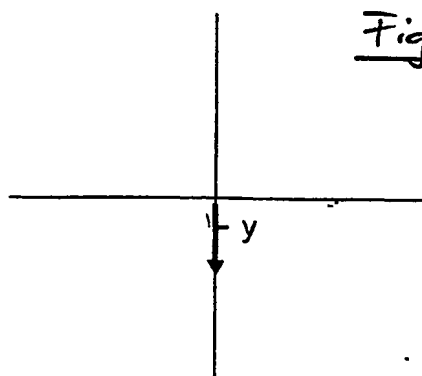
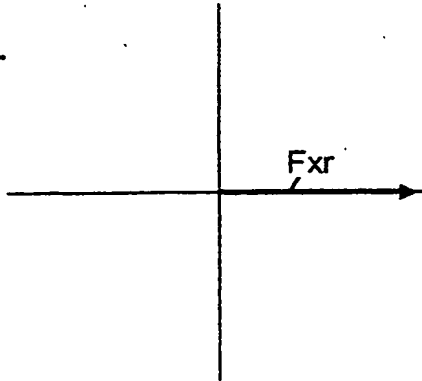
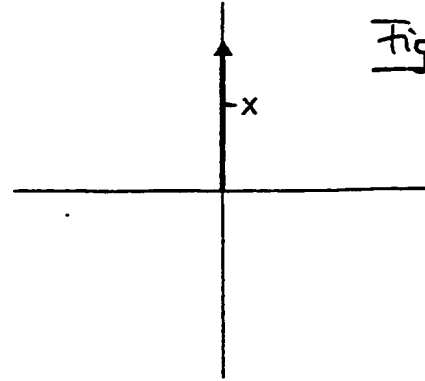
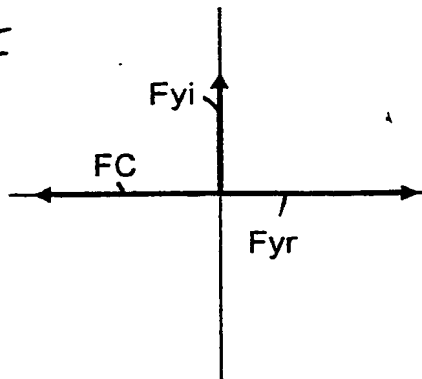
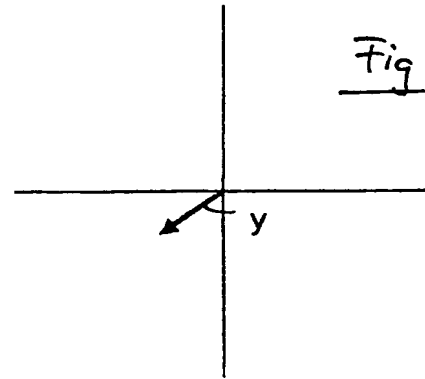
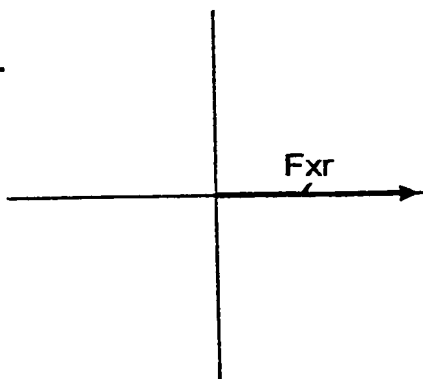
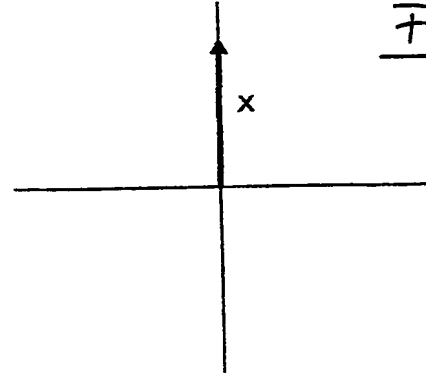
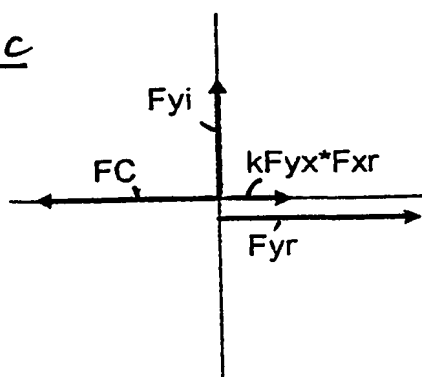
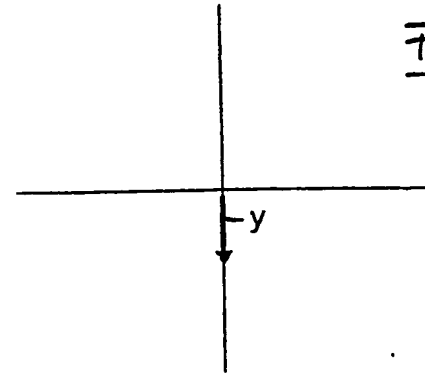
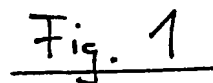


Fig. 5aFig. 5bFig. 5cFig. 5d

Kräfte

Bewegung

Fig. 6aFig. 6bFig. 6cFig. 6d



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.